

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN**(11)Publication number : 2002-344050****(43)Date of publication of application : 29.11.2002****(51)Int.Cl.****H01S 3/10****H01S 3/101****(21)Application number : 2002-043278****(71)Applicant : EASTMAN KODAK CO****(22)Date of filing : 20.02.2002****(72)Inventor : RODDY JAMES E
MARKIS WILLIAM R****(30)Priority****Priority number : 2001 788978 Priority date : 20.02.2001 Priority country : US****(54) SPECKLE-SUPPRESSED LASER PROJECTION SYSTEM USING MULTI- WAVELENGTH
DOPPLER-SHIFTED LIGHT BEAM****(57)Abstract:****PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a system and method for reducing or eliminating the speckle intensity distribution of a laser imaging system.**SOLUTION:** In one of the embodiments, a radio frequency signal is injected into a semiconductor laser light source 12 for a projection system 10, to create different speckled patterns which blend together on a projection surface 19. In another embodiment, optical feedback is used to induce a laser light source for a projection system 10 to create different speckled patterns that blend together on a projection surface 19. Still in another embodiment, the laser light source wavelength is Doppler-shifted, to produce different speckle patterns; and yet in another embodiment, a deflecting means is used to orientedly move the light beam, to reduce conspicuous speckles. Although human eyes are very sensitive to horizontal and vertical edges but since are less sensitive to angles between them, beam movement of approximately 45 degrees minimizes the loss of MTF, in the horizontal and vertical directions.

(19)日本国特許庁 (J P)		(12) 公 開 特 許 公 報 (A)		(11)特許出願公開番号 特開2002-344050 (P2002-344050A)	
				(43)公開日 平成14年11月29日 (2002.11.29)	
(51)Int.Cl. ⁷	機別記号	F I	デフォード (参考)		
H 0 1 S 3/10		H 0 1 S 3/10	A 5 F 0 7 2		
	3/101		3/101		
審査請求 未請求 請求項の数 4 O L 外国語出願 (全 27 頁)					
(21)出願番号	特願2002-43278 (P2002-43278)	(71)出願人	590000846		
(22)出願日	平成14年2月20日 (2002.2.20)	イーストマン コダック カンパニー アメリカ合衆国、ニュージャーク14650、ロ チェスター、ステイト ストリート343 ジェイムズ・イー・ロディ			
(31)優先権主張番号	0 9 / 7 8 8 9 7 8	(72)発明者	アメリカ合衆国14626ニュージャーク州ロチ		
(32)優先日	平成13年2月20日 (2001.2.20)	エスター、サウスリッジ・ドライブ83番			
(33)優先権主張国	米国 (U S)	(72)発明者	ウィリアム・アール・マーキス		
		アメリカ合衆国14559ニュージャーク州スベ			
		(74)代理人	ンザポート、ギヤラップ・ロード577番 100062144		
		弁理士 青山 稔 (外2名)			
最終頁に続く					

(54) 【発明の名称】 複波長ドップラー懸移光線を用いた、スベックル抑制レーザ投影システム

(57) 【要約】

【課題】 レーザイメージングシステムのスベックル強度分布を低減し、または削減するシステムおよび方法を提供する。

【解決手段】 本発明の実施例では、無線周波数値号が投影システム10の半導体レーザ光源12に注入され、投影面19上に一緒に混合される列々のスベックルパターンを生成する。他の実施例では、光学的フィードバックを利用してレーザ投影システム10のレーザ光源を誘起し、投影面19上に一緒に混合される列々のスベックルパターンを生成する。他の実施例では、レーザ光源波長はドップラースhiftされ、列々のスベックルパターンを生成する。他の実施例では、偏向手段を用いて光線を方向付けて移動させ、目立つスベックルを低減する。人間の目は、水平方向および垂直方向のエッジには敏感であるが、その間の角度にはそれほど敏感ではないため、約45度の光線の移動により水平方向および垂直方向のMTFの損失を最小化できる。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光線を与えるレーザと、信号を生成する変調オシレータと、搬送波を生成するオシレータと、前記変調オシレータからの前記信号と、前記オシレータからの前記搬送波とを結合させて、周波数変調された信号を生成する周波数変調器と、周波数変調された前記信号と、前記レーザ光線とを受け取り、複波長ドップラースhiftされた光線出力する音響光学変調器とを備えた、スベックルを抑制したレーザ投影システム。

【請求項2】 前記複波長ドップラースhiftされた光線をスクリーン上に表示する光学投影システムをさらに備えた、請求項1に記載のレーザ投影システム。

【請求項3】 イメージデータが、前記光学投影システムに提供される、請求項2に記載のレーザ投影システム。

【請求項4】 前記変調オシレータにより生成された前記信号は、三角波である、請求項1に記載のレーザ投影システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】 【発明の属する技術分野】 本発明は、概して、レーザ投影システムに関する。より具体的には、本発明は、スベックル (speckle) 抑制を含むレーザイメージングシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、光源としてレーザを用いる投影システムが開発されてきている。レーザ投影システムには、2つの主要な形態が存在する。一方は、レーザおよびラスタ技術を利用して、画像を画素ごとに投影面に書き込む。他方は、レーザを、照射源およびLCDのような空間光変調器として用い、イメージを投影面上に完全に投影する。

【0003】 ラスタ手法を用いるレーザ投影システムは、レーザにより生成されたコヒーレント光の光線を偏向することにより動作する。偏向器 (deflector) は、回転鏡および音響光学偏向器 (AOD: Acousto-optic deflector) のような装置を含む。レーザ光源からの赤色光、緑色光、および、青色光は、独立して変調でき、そして、色投影システムのポリゴンミラーまたはガルバノメーターを用いて、表面を結合しおよびスキャンする。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 残念ながら、レーザラスタ投影システムに関連して、多くの問題が存在する。例えば、ちらつき (フリッカー) は、表示可能な画素数の上限を制限する。偏向器の特性により、ある所与の間では、1画素のみしか表示できない。さらに、表示には持続性がない。レーザ投影システムは、光を拡散面上に導くので、表示される全ての点を、人間の目の境界フ

リッカー周波数 (CFF) よりも短い時間内で照射しなければならぬ。

【0005】 レーザラスタ投影システムの別の問題は、多色色レーザの使用が必要な、色イメージの生成に関する。本質的に困難なのは、複数の偏向器を並列および同期させて、所与の画素位置において、異なる色を同時にイメージ化することである。

【0006】 液晶表示装置 (LCD) もまた、投影システムにおいて用いられるが、スベックルイメージを作り出してしまふ。LCD投影システムに用いられる光源は、白熱灯、アーク灯、発光ダイオード (LED) およびレーザを含む。LEDは、非コヒーレント光を発生し、投影されたイメージ上にスベックルパターンを生成しないうが、投影システムに対しては、十分な光を出力していない。ランプは、LEDより明るい、大きなスクリーンの投影システムで用いるには、十分明るくなく、ランプはかなりの熱を発生する。レーザは、LCD投影システムの光源として利用できる。それは、レーザは、より利用しやすい光を出力でき、広い領域にわたり、非常に明るいイメージを与えられるからである。

【0007】 レーザラスタシステムまたはLCD投影システムの光源として利用されるレーザは、投影されたイメージに、望ましくないスベックルパターンを生じさせる。レーザスベックルは、光学的に粗い面からの高コヒーレント光の反射または伝送に起因する干渉パターンである。ある面は、局所的に深さが不均一であり、波長の1/4よりも大きい。例えば、レーザ光線が壁に向けられていている場合には、不均一な照射点ではなく、周辺に分布するスベックルを有する明るい点が観測される。不均一な投影面へ向けられるレーザ光は、異なる位相の光として反射される。人間の目は、このような異なる位相を、干渉として認識する。よって、部分的なコヒーレント光線の相互干渉により、スベックルパターンが生じる。

【0008】 従来の技術では、投影されたイメージにおけるスベックルの除去または抑制を行うため、様々なシステムおよび方法が試みられてきた。機械的動作によるスベックル低減技術は、実装が困難であり、故障が生じやすい。散光器もまたスベックルの低減が可能であるが、極めて信頼性が低い。米国特許第4,011,403号公報は、光源としてのレーザと、光伝送部として光ファイバを含む対象物照射およびイメージング (描写) システムを開示する。光流分裂 (light-flow-disruptive) 手段は、平行光照射を受けて動作し、好ましくないスベックル効果を低減する。ある実施の形態では、ポリトランプルオロエチレンレンズまたはディスクのような散光器を、光源と、観察される対象物との間の光流の通路に差し込み、好ましくないスベックルを低減できる。または、スベックル効果は、光線が横切る光学経路において、素子を振動させることにより低減できる。しかし、

散乱素子を用いるスベックル低減システムは、多大な光出力の損失を伴う表示システムになってしまふ。

【0009】米国特許第4,155,630号公報は、コヒーレント光イメーシングシステムにおいて、スベックル削減によりイメーজ品質を上するプロセスおよび装置を開示する。散乱されたレーザ光は、2次元領域を走査する反射光線を生じさせる振動動作を行う順に方向付けられる。反射光は、光を平行にしてイメージ生成に用いられる前に、散光器を通して、焦点を合わされる。しかし、イメーシングシステムにおいて、スベックル削減のために揺動ミラーと散光器の両方を用いると、光出力を大幅に損ってしまふ結果になる。

【0010】米国特許第5,272,473号公報は、スベックルが低減されるコヒーレント光投影システムおよび方法を開示する。この発明は、コヒーレント光源および表示スクリーンとから構成される。コヒーレント光源は、表示スクリーン上の対応する複数の点に当たる、複数の狭小光線を生成する。表示スクリーンは、対応点を横切る表面音波を生成するトランスデューサを有する。目立つスベックルを十分低減するような、特に、表示スクリーンが大きい場合には、表示スクリーンの意図のある動作は困難である。

【0011】米国特許第5,274,494号公報は、高コヒーレント源において、スベックルの分布強度を低減し、または削減する方法および装置を開示する。コヒーレント光線は、ラマンセル (Raman cell) 内に向けられ、元の波長の他に、追加の側波長を有する広いスペクトル帯域光線を得る。広いスペクトル帯域を持つ複合光線は、実質的にスベックル強度源のないイメージを形成できる。ラマンセルが引き起こす空間的な非コヒーレンスを補償する必要がある。さらに、複数のラマンセルを使用すると、スベックル低減システムがかなり複雑になる。

【0012】米国特許第5,313,479号公報は、スベックルのない表示システムおよびその方法を開示する。システムは、少なくとも1つのコヒーレント光源と、コヒーレント光線を遮断する平面状に配置された散乱素子と、散乱光線を受け取り、かつ、イメージ光線を生成する空間光変調器と、表示面とから構成される。散乱素子の動作により、スベックル干渉パターンが生じ、表示面上を移動する。散乱素子は、回転または振動可能である。しかし、回転する散乱素子を有するスベックル低減システムは、多大な光出力の損失を伴う表示システムになってしまう。

【0013】スベックル低減を組み込んだイメージ投影システムに加え、リソグラフィックシステムが、スベックル低減技術として利用されてきている。米国特許第5,453,814号公報は、マイクロリソグラフィのための、均一照射システムおよび方法を開示する。固体レーザを有する光源は、多くのセグメントに分割された光線を出射する。セグメントは、周波数領域で実質的に重ならない

ように、異なる量だけシフトされた周波数である。各セグメントは、虫目アレイ (fly's eye array) の短焦点レンズを通り、マスクを不均一に照射するマスク面上に散乱する。虫目アレイのレンズ素子は、散乱した光線セグメントの幅に比較して、小さい領域内に含まれ、各光線セグメントは、マスクの共通部分全体を照射するのに貢献する。システムは、スベックルまたは縞の存在なしに、深紫外線 (deep ultra-violet) 領域で均一な照射を与える。各々が、異なる周波数だけシフトする周波数シフト素子の虫目アレイは、イメージ投影システムにおける、スベックル低減を取り込んだ光学的複合手段である。

【0014】よって、レーザ投影システムにおいて、非機械的または散乱手段によりスベックルを低減することが好ましい。

【0015】また本発明の目的は、レーザ投影システムにおいて、スベックル抑制のためのシステムおよび方法を提供することである。

【0016】
【課題を解決するための手段】本発明は、上述の問題の克服することを意図している。本発明のある局面を簡単に要約すると、投影システムにおけるレーザ光源の波長は、ドップラシフトされ、異なるスベックルパターンを生成する。ある実施例では、レーザ投影システムは、少なくとも1つのレーザと、音響光学変調器 (AOM) へ送られるRF搬送波周波数により、レーザ波長を変化させる音響光学変調器 (AOM) とを備えている。RF搬送波をスルーイングすると、周波数は、レーザの波長をドップラシフトし、スベックルパターンを変化させ、そして、投影面に形成されたイメージ内のスベックルの検出可能性を低減できる。

【0017】本発明のさらなる局面においては、無線周波数 (RF) 信号が、少なくとも1つの半導体レーザに注入される。半導体レーザは、投影システムの光源として機能する。無線周波数の注入により、レーザ出射モード構造がすばやく変化し、それにより、横断断レーザグモードを生成する。各モードは、異なるスベックルパターンを呈する。無線周波数注入されたレーザを含む投影システムにおいて投影されたイメージは、好ましくないスベックルの出現を抑制できる。それは、異なるレーザ動作モードにより生成された異なるスベックルパターンは、互ね合わされ、投影面上で混合するからである。

【0018】本発明のさらなる局面では、偏向器は、レーザ投影システムの出力光線を方向付けて移動させ、投影面上のイメージに存在する目立ったスベックルを低減する。AOMからの偏向された光線の指示角度 (pointing angle) は、搬送波周波数の強関数 (strong function) である。その周波数をスルーイングすることにより、スクリーン上の光線の位置を変更でき、それによりスベックルパターンを変更できる。光線の動きは、移動

方向における変調伝達関数 (MTF) に大きく影響しない、約1画素程度のオーダーでよい。垂直または水平に対して約45度の光線の動きは、水平および垂直方向におけるMTFの損失を最小化でき、目では気付きにくい。【0019】本発明、その目的、および、効果は、以下提示する好ましい実施の形態の詳細な説明において、より明らかになる。

【0020】
【発明の実施の形態】本発明は、特に、本発明による装置の一部を構成する要素、または、本発明による装置とより直接的に協働する要素に向けられている。特に図示または説明されていない要素は、当業者に周知の様々な形態を取ることができていることを理解されたい。

【0021】図1の (a) は、レーザ投影システム10を示す図である。レーザ投影システム10は、半導体レーザ12を駆動する、無線周波数オシレータ (RFオシレータ) 11を有する。半導体レーザ12は、光学投影システム13の光源として動作する。RFオシレータ信号14は、DCバイアス信号15と結合され、半導体レーザ12を駆動する。光出力15P0のレーザ光線16は、半導体レーザから出射される。同時に、通常P0の約3%の光出力Pmのモニタ光線が、内部フォトダイオード17に向けて、半導体レーザから出射される。半導体レーザからの光出力15Pmは、内部フォトダイオードによりモニタされ、電源制御回路18への信号を与えらる。電源制御回路18は、内部フォトダイオード17からの信号における変化をモニタし、それにより半導体レーザへのDCバイアス電流を調整して、一定の出力を維持する。

【0022】出力P0の複波長レーザ光線16は、半導体レーザから、光学投影システム13へ出射される。無線周波数の注入 (injection) は、レーザ出射を、シングルモードから、効率的なマルチモードパターンへと変化する。

【0023】図1の (b) は、RF注入された (RF injected) 半導体レーザからの複波長スペクトルのグラフを示す。RF注入による強制マルチモード動作は、約4または5のレーザグモード (lasing modes) を生成する。各レーザグモードは、異なるスベックルパターンを呈する。マルチモードビームを入力として用いると、図1の (a) に示す光学投影システムは、イメージを、スクリーン19のような投影面に投影する。無線周波数注入されたレーザを含む投影システムにおいて投影されたイメージは、必要のないスベックルパターンを抑制する。それは、異なるレーザ動作モードにより生成された異なるスベックルパターンは、イメージ内でも混合するからである。

【0024】図2の (a) は、半導体レーザシステムを利用して、光学的フィードバックにより出力された横断モード (a multi-longitudinal mode) を生じる、イ

メージ投影システム20の概略図を示す。定電流源21は、半導体レーザ12に対する駆動信号を与える。光ファイバ22は、レーザの出力光線の前に配置される。半導体レーザ、および、光ファイバは、熱電気クーラー3に固定され、両素子は一定温度に維持される。温度制御部24は、熱電気クーラーをモニタし、熱電気クーラーに駆動信号を与える。レーザ出力P0は、光ファイバに向けられる。

【0025】レーザ光線は、主として、光ファイバを通して光学投影システム13へ向かうように方向付けられる。しかし、光の一部は、光ファイバで反射され、半導体レーザに戻る。これは、レーザ内で光学的フィードバックを引き起こす。これは、順々にモードホッピング、および半導体レーザから出力される横断断モードを引き起こす。例えば、半導体レーザは、Pointsourceから入手可能な半導体レーザは、ファイバビグテール (a fiber pigtail) を用い、光学的フィードバックを誘起する。

【0026】図2の (b) は、光ファイバがレーザの出力の前に配置された半導体レーザからの複波長スペクトルを示す図である。光学的フィードバックは、シングルモードから、効率的なマルチモードパターンへと、レーザの出射を変化させる。光学的フィードバックによる強制マルチモード動作は、約4または5のレーザグモードを生成する。各レーザグモードは、異なるスベックルパターンを呈する。マルチモードビームを入力として用いると、図2の (a) に示す光学投影システムは、イメージを、スクリーン19のような投影面に投影する。誘起されたマルチモードレーザを含む投影システムを用いて投影されたイメージは、必要のないスベックルパターンを抑制する。それは、異なるレーザ動作モードにより生成された異なるスベックルパターンは、イメージ内でも混合するからである。

【0027】図3は、レーザシステムを有するイメージ投影システム30の概略図である。イメージ投影システム30は、光学的フィードバックにより出力された横断モードを生成する。レーザ25は、電源31からの信号により駆動される。レーザは、ガスレーザ、半導体レーザ、または、固体レーザである。レーザの光出力P0は、部分反射鏡32の表面に方向付けられる。

【0028】レーザ光線33は、部分反射鏡32を通過して、光学投影システム13に向けて部分的に伝送される。しかし、レーザ光線はまた、レーザの出力窓に向かって反射されて戻る。この光が再びレーザに入ると、レーザキャビティを妨害し、レーザは複波長光線を出し、光学的フィードバックは、シングルモードから効率的なマルチモードパターンまでレーザの出射を変化させる。レーザは、すぐにシングルモードになる場合もあるが、強制的にモード構造をすぐ切り替える。光学的フィードバックによる強制マルチモード動作は、約4

または5のレーザリングモードを生成する。各レーザリングモードは、異なるスペクトルパターンを呈する。複波長光線は、投影システムに方向付けられる。光学投影システムからの投影光線は複波長であるため、イメージング面上に形成されたイメージは、目立つスペクトルを呈しない。光線の変化する法は、目立つスペクトルを低減する。それは、各波長についてのスペクトルパターンは重複し、イメージ内で互いに混合するからである。

【0029】図4は、可変周波数音響光学変調器（AOM：acousto-optic modulator）41を備えた、ドップラースhiftによる複波長レーザ光線16を用いる、イメージ投影システム40を示す概略図である。オシレータ42は、無線周波数（RF）値号43を生成するのに用いられる。変調オシレータ44は、変調値号を生成するのに用いられる。オシレータにより生成されたRF値号および変調値号の両方は、周波数変調器46に送られる。周波数変調器46は、両値号を結合して、RF変調値号47を形成し、その新たな値号をAOMに送る。レーザ48の出力は、AOMに向けられ、AOMはRF変調値号を受信する。

【0030】RF値号をスルーイング（slewing）すると、周波数は、レーザの波長にシフトし、スペクトルパターンを変化させ、そして、形成されたイメージ内のスペクトルを低減する。AOMからの複波長ドップラースhift出力光線は、光学投影システム13に送られる。投影システムは、イメージをイメージング面19上に投影する。光学投影システムへの入力光線が複波長光線であるから、光線の変化する波長は、目立つスペクトルを低減する。それは、各波長についてのスペクトルパターンは重複し、イメージ内で互いに混合するからである。変調オシレータ44は、単なる正弦波生成装置である必要はない。ある任意の周波数における停止（dwell）を最小にし、よって、スペクトルの発生を最小にするため、三角波形が有利である。

【0031】図5は、可変周波数音響光学変調器（AOM：acousto-optic modulator）を有し、角度変化レーザ光線を用いるイメージ投影システム50の概略図を示す。オシレータ42は、無線周波数（RF）値号43を生成するのに用いられる。変調オシレータ44は、変調値号45を生成するのに用いられる。オシレータにより生成されたRF値号および変調値号の両方は、周波数変調器46において検出される。周波数変調器46は、両値号を結合して、RF変調値号47を形成し、その新たな値号をAOMに送る。レーザ光源の出力は、RF変調値号を受信するAOMに向けられ、AOMはRF変調値号を受け取る。AOMは、微小角変動を伴う光線を、光学投影システムに出力する。

【0032】イメージ投影システム50は、角度変化光線を、イメージング面19に向けて出力する。周波数をスルーイングすることにより、スクリーン上の光線の位

置を変更でき、よって、スペクトルパターンを変更できる。ある任意のスクリーン位置における停止（dwell）を最小にするため、変調オシレータ44により生成される変調値号45を、三角波形にするのが有利である。光線の移動は、移動方向において変調伝達関数（MTF）を壊さないように、約1画素のみでよい。人間の目は、水平方向のエッジおよび垂直方向のエッジには敏感であるが、その間の角度にはそれほど敏感ではないため、約45度の光線の移動により、水平方向および垂直方向のMTFの損失を最小化できる。しかし、光線移動周波数は、目に対する明らかなフリッカーを防ぐのに十分高くない。例えば、米国特許第5,272,473号公報で述べられているように、光のレベルに依存する、約5Hzおよび60Hzの間の光線移動周波数は、人間の目による検出をさせないためには十分である。

【0033】図6は、レーザシステム60の概略図である。レーザシステム60は、領域アレイ装置を照射して、イメージを投影する角度変化光線を生成することができる。レーザ光線61は、AOM41に方向付けられる。可変周波数搬送値号62は、AOMに注入される。AOMは、角度変化光線63を、光線を拡張する拡張光学部64に方向付けて出力する。拡張された光線は、光線スプリッタキューブ（beamsplitter cube）65に方向付けられる。角度変化光線の入射からみて、光線スプリッタキューブの隣接する側に、空間光変調器66は、空間光変調駆動部68に提供されるイメージデータ67に基づくイメージを投影する。光線スプリッタキューブは、光学増光器69を通してイメージを出力する。投影レンズの出力は、角度変化光線71を、投影面19に方向付ける。

【0034】投影面に投影されたイメージは、スペクトルが抑制されている。それは、角度変化光線は、光線のパターンをイメージに混合するからである。先の実施例で説明したように、光線の動きは、移動方向における変調伝達関数（MTF）を壊さないように、約1画素のみでよい。人間の目は、水平方向のエッジおよび垂直方向のエッジには敏感であるが、その間の角度にはそれほど敏感ではないため、約45度の光線の移動により、水平方向および垂直方向のMTFの損失を最小化できる。しかし、光線移動周波数は、目に対する明らかなフリッカーを防ぐのに十分高くない。例えば、約5Hzおよび60Hzの間の光線移動周波数は、人間の目による検出をさせないためには十分である。簡単なため、図6は、単一光線投影システムのみを示す。多色投影システムにおいては、複数の光線、例えば、赤色、緑色、および、青色の光線は、別個の光源および空間光変調器から生成でき、Xキューブプリズムまたは他の適当な手段を用いて結合できる。非コヒーレント色プロジェクタの分野では、複光線システムの多くの例が存在する。

【0035】図7は、レーザシステム80の概略図である。レーザシステム80は、イメージを画素ごとに投影するラスタ走査レーザシステムにおいて、角度変化光線を生成することができる。レーザ48の出力光線61は、AOM41の入力へと方向付けられる。AOM41は、画素変調値号72により駆動される。AOM42の出力光線は、最初のAOMの出力の直前に存在する別のAOM63に方向付けられる。これは、可変周波数搬送値号64により駆動される。角度変化光線は、可変周波数駆動されたAOMから出力され、光学部群65に方向付けられる。光学部からの出力光線は、ポリゴン86のような高速水平偏向器に方向付けられる。ポリゴンからの反射光線88は、ガルバノメータまたは鏡のような低速垂直偏向器89に方向付けられる。垂直偏向器からの反射光線は、投影レンズ70に方向付けられる。角度変化出力光線90は、投影レンズから投影面19に向けて出力される。

【0036】【発明の効果】スクリーン上のスペクトルは低減される。それは、角度変化光線が、光線のスペクトルパターンをイメージに混合するからである。先の実施例で説明したように、光線の動きは、移動方向における変調伝達関数（MTF）を壊さないように、約1画素のみでよい。人間の目は、水平方向のエッジおよび垂直方向のエッジには敏感であるが、その間の角度にはそれほど敏感ではないため、約45度の光線の移動により、水平方向および垂直方向のMTFの損失を最小化できる。しかし、光線移動周波数は、目に対する明らかなフリッカーを防ぐのに十分高くない。例えば、約5Hzおよび60Hzの間の光線移動周波数は、人間の目による検出をさせないためには十分である。

【0037】このように、スペクトルは、RF注入、光

学的フィードバック、ドップラースhift波長を用いることにより低減でき、または、レーザ投影システムにおいて、偏向手段がスペクトルを抑制することが理解される。

【図面の簡単な説明】

【図1】（a）は、イメージ投影システムにおいて、無線周波数（RF）注入された半導体レーザを用いた複断レーザ源を利用する、イメージ投影システムの概略図である。（b）は、RF注入された半導体レーザからの複波長スペクトルについての、出力波長のグラフである。

【図2】（a）は、光ファイバを用いて半導体レーザにおいて複断モード動作を誘起するイメージ投影システムの概略図である。（b）は、光ファイバからの光学的フィードバックを有する半導体レーザからの、複波長スペクトルについての、出力波長のグラフである。

【図3】 部分反射鏡を用いて、レーザにおいて複断モード動作を誘起する、イメージ投影システムの概略図である。

【図4】 可変周波数音響光学変調器（AOM）を備えた、ドップラースhiftによる複波長レーザ光線を用いる、イメージ投影システムを示す概略図である。

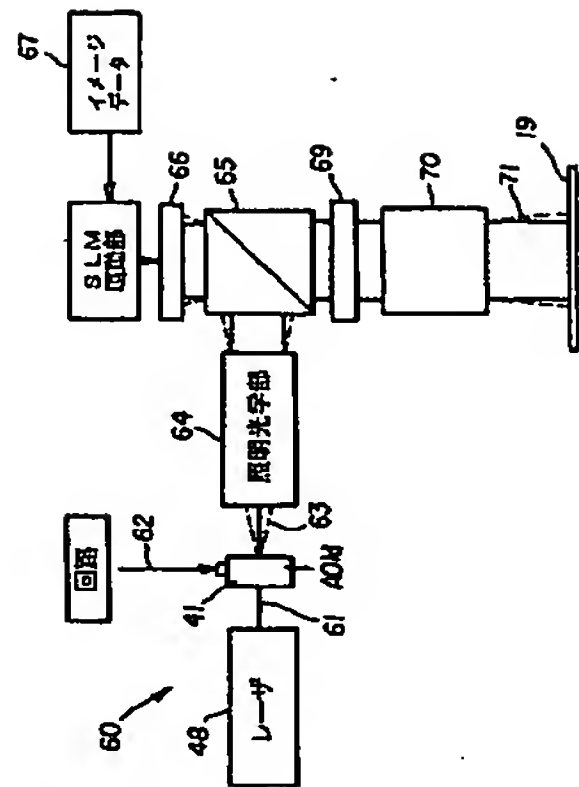
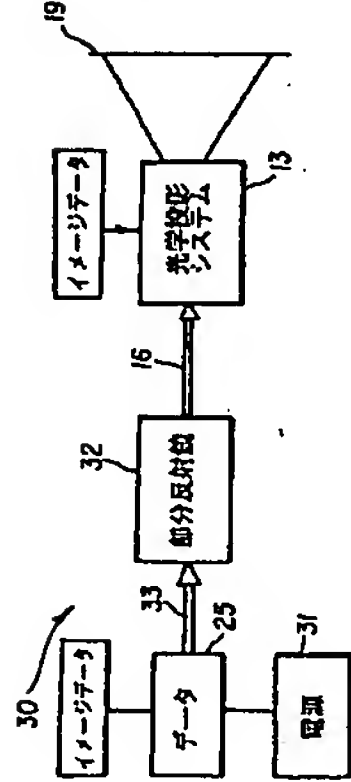
【図5】 可変周波数AOMを用いることにより、角度変化レーザ光線を利用するイメージ投影システムの概略図である。

【図6】 角度変化光線を利用して、領域アレイ装置を照射しイメージを投影する、イメージ投影システムの概略図である。

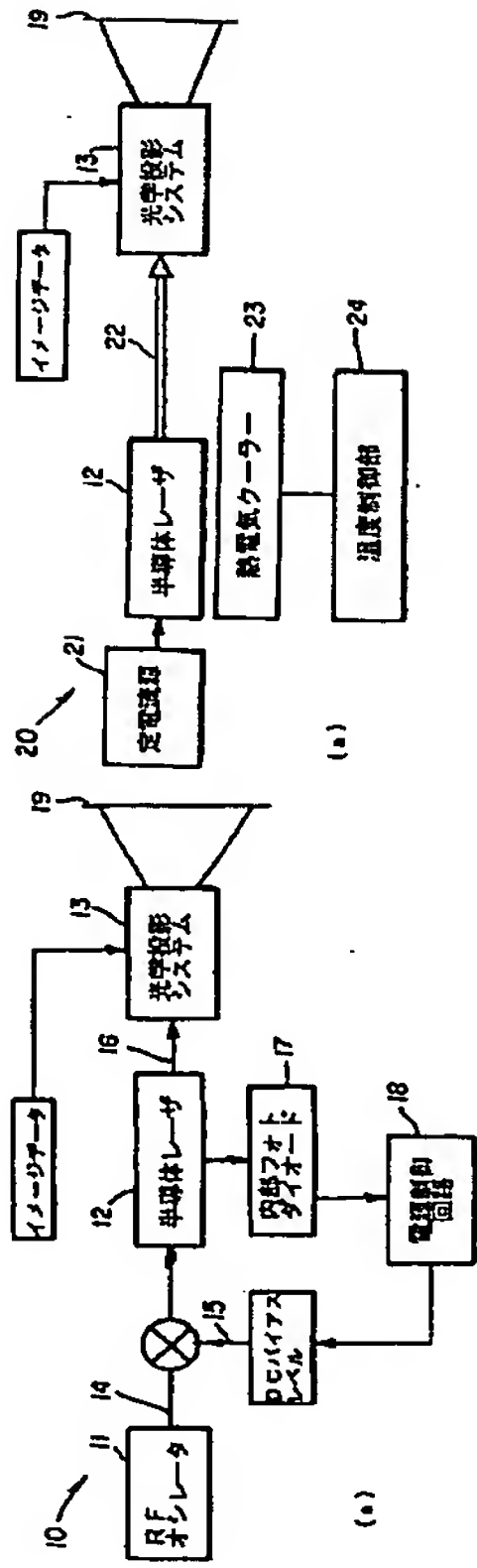
【図7】 ラスタ走査レーザイメージングシステムにおいて、角度変化光線を利用するイメージ投影システムの概略図である。

【図3】

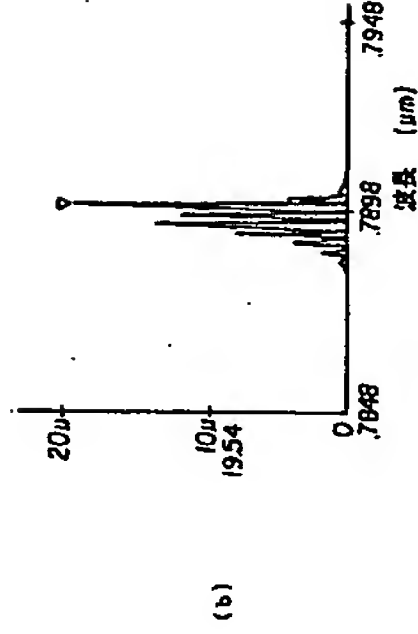
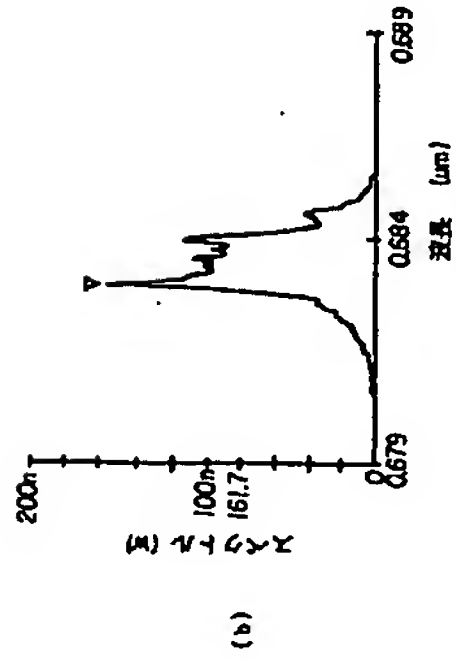
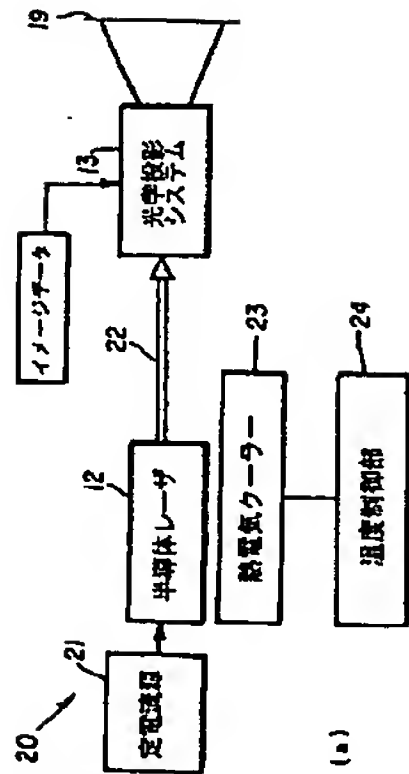
【図6】



【図1】



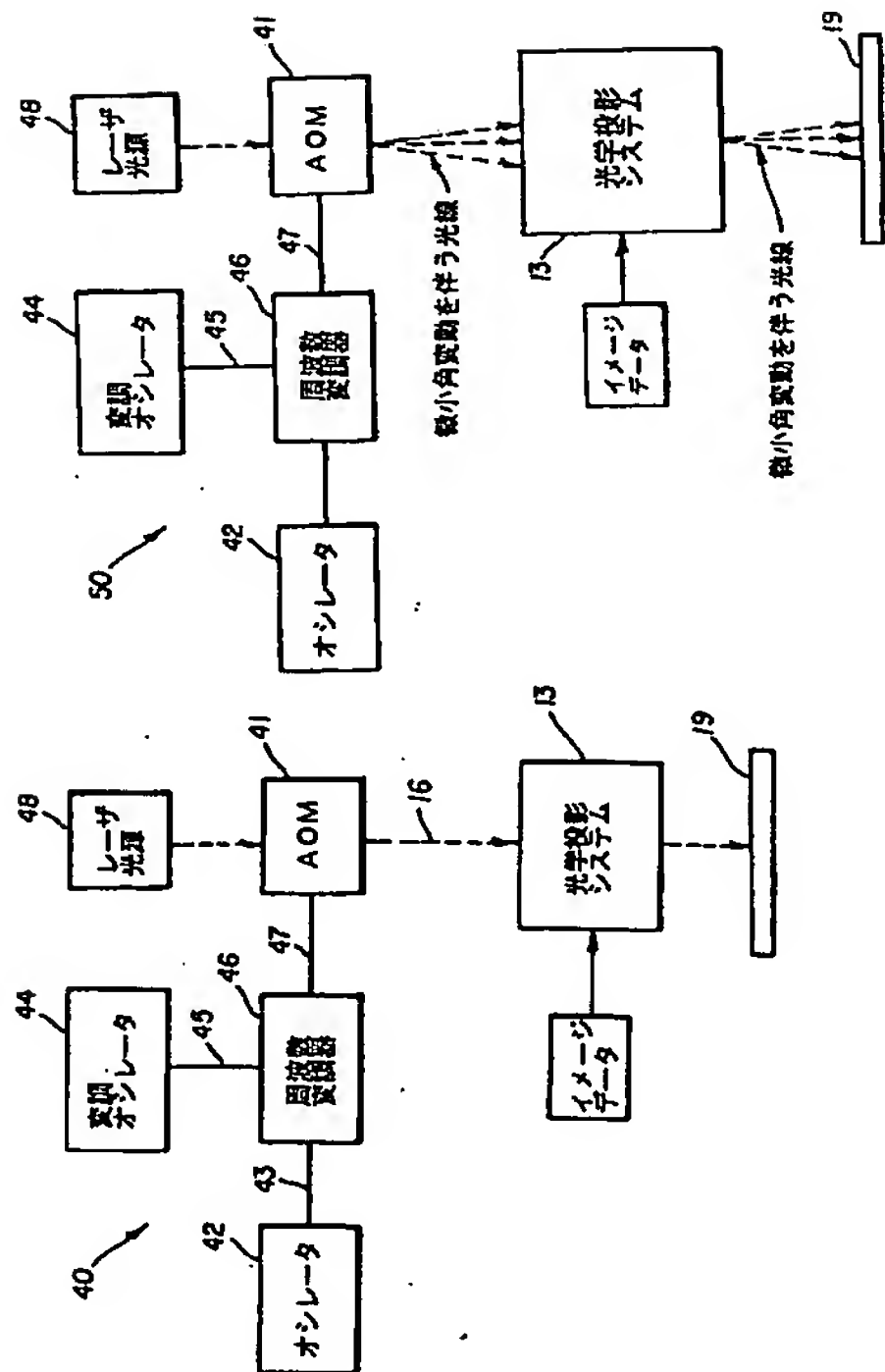
【図2】



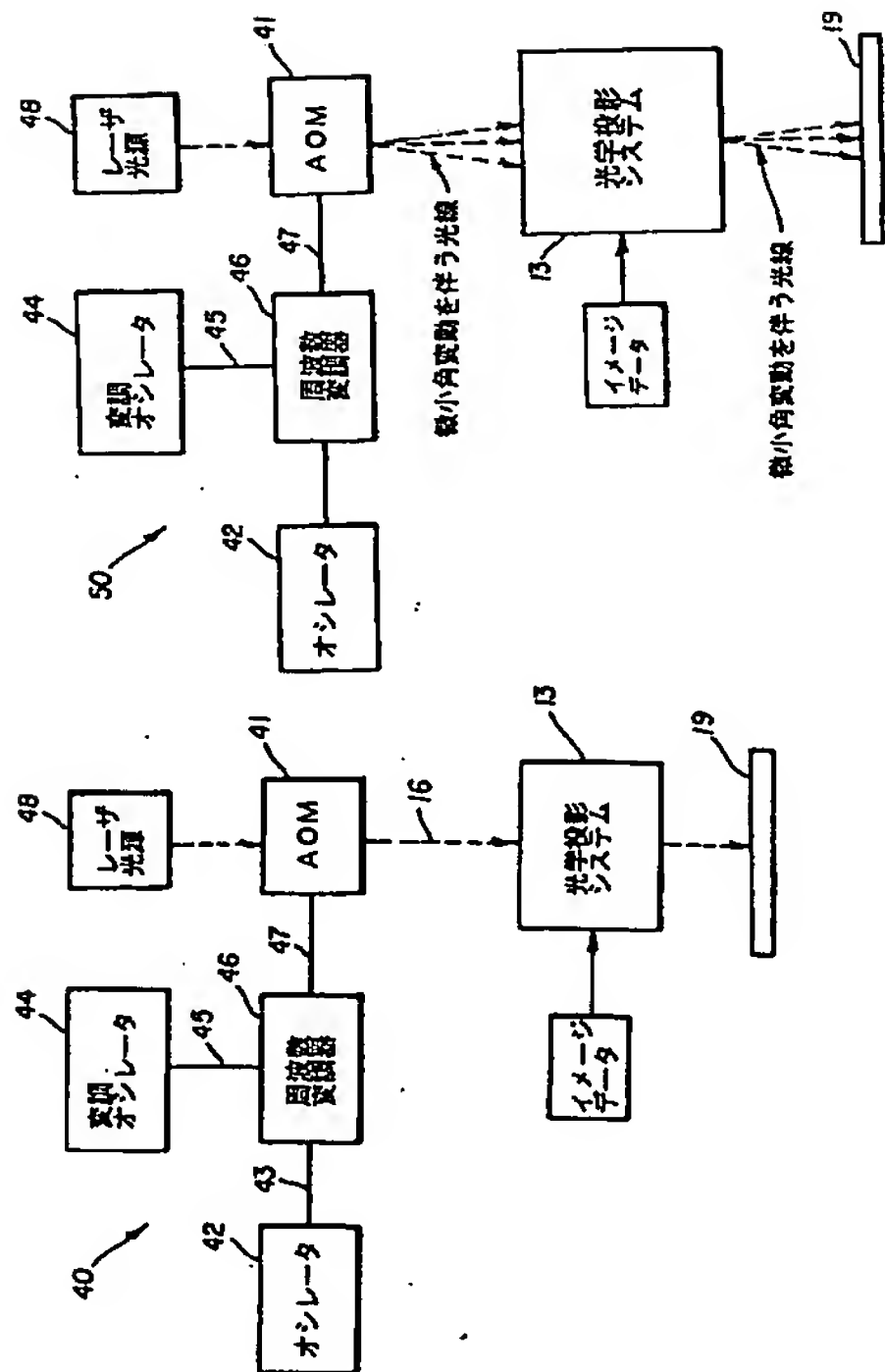
フロントページの続き

Fターム(参考) 5F072 HH02 HH05 HH06 JJ11 JJ20
KK30 MM03 RR03 SS02 YY20

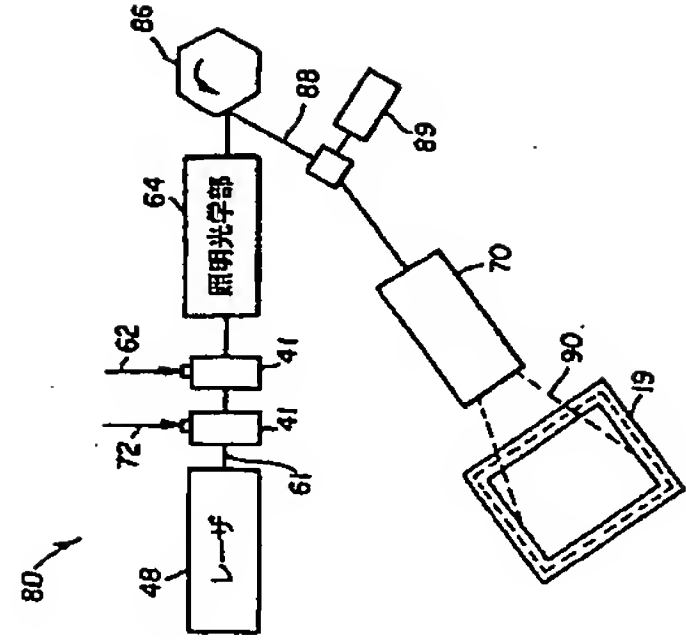
【図4】



【図5】



【図7】



【外国語明細書】

【発明の名称】

A SPECKLE SUPPRESSED LASER PROJECTION SYSTEM USING A MULTI-
WAVELENGTH DOPPLER SHIFTED BEAM

【特許請求の範囲】

1. A speckle suppressed laser projection system comprising
a laser which provides a laser beam;
a modulation oscillator which produces a signal;
an oscillator which produces a carrier;
a frequency modulator, wherein said frequency modulator
combines said signal from said modulation oscillator and said carrier from said
oscillator to produce a frequency modulated signal; and
an acusto-optic modulator wherein said modulator receives
said frequency modulated signal and said laser beam, and outputs a multi-
wavelength Doppler shifted beam.
2. A speckle suppressed laser projection system as in claim 1
wherein an optical projection system displays said multi-wavelength doppler
shifted beam on a screen.
3. A speckle suppressed laser projection system as in claim 2
wherein image data is supplied to said optical projection system.
4. A speckle suppressed laser projection system as in claim 1
wherein said signal produced by the modulated oscillator is a triangle wave.

【発明の詳細な説明】

【発明の属する技術分野】

This invention relates generally to a laser projection system, and more specifically to a laser imaging system incorporating speckle suppression.

【従来の技術】

Recently, projection systems have been created that utilize lasers as a light source. Two primary forms of laser projection systems exist. One laser projection system uses a laser and a raster technique to write an image pixel by pixel to a projection surface. Another laser projection system uses a laser as an illumination source and a spatial light modulator, such as a LCD, to project an image in its entirety onto a projection surface.

Laser projection systems using a raster procedure operate by deflecting a beam of coherent light generated by a laser to form an image. The deflectors include devices such as spinning mirrors and acousto-optic deflectors (AODs). Red, green, and blue light from laser sources can be independently modulated, and then combined and scanned onto a surface using a polygon mirror or galvanometer in a color projection system.

【発明が解決しようとする課題】

Unfortunately, there are a number of problems associated with laser raster projection systems. For example, flicker places an upper limit on the number of pixels displayable. Only one pixel can be displayed at any given moment due to the nature of the deflectors. Furthermore, there is no persistence to the display. Since laser projection systems direct the light onto a diffusion surface, all points to be displayed must be illuminated within a time period less than the critical flicker frequency (CFF) of the human eye.

Another problem with laser raster projection systems relates to the generation of color images, which requires the use of multi-colored lasers. Substantial difficulties exist in aligning and synchronizing multiple deflectors so as to simultaneously image different colors at a given pixel location.

Liquid Crystal Displays (LCDs) are also used in projection systems that may produce speckled images. Light sources used for LCD projection systems include incandescent lamps, arc lamps, Light Emitting Diodes (LEDs)

and lasers. While LEDs emit incoherent light that would not produce speckle patterns in a projected image, they do not output sufficient light for projection systems. Lamps are brighter than LEDs, but not bright enough to be used in projection systems for large screens and lamps generate considerable heat. Lasers can be used as a light source for a LCD projection system since they are capable of outputting more usable light, thus providing a very bright image over a large area.

Lasers used as light sources for laser raster or LCD projection systems produce an undesirable speckle pattern in a projected image. Laser speckle is an interference pattern that results from the reflection or transmission of highly coherent light from an optically rough surface, one whose local irregularities in depth are greater than one quarter of a wavelength. For example, if a laser beam is directed at a wall, a bright spot with a surrounding distribution of speckles is observed, rather than a uniformly illuminated spot. Laser light directed at an uneven projection surface is reflected as different phases of light. The human eye perceives these different phases as interference. Thus, the mutual interference of partially coherent beams causes the speckle pattern.

Various systems and methods have been attempted in the prior art to address speckle elimination or suppression in a projected image. Speckle reduction techniques relying on mechanical motion can be difficult to implement and are prone to failure. Diffusers are also capable of reducing speckle, but tend to be extremely loose. U.S. Patent No. 4,011,403 discloses an object-illuminating and imaging system comprised of a laser as a light source and an optical fiber as a light transmitter. A light-flow-disruptive means acts upon the collimated illumination to reduce objectionable speckle effects. In one embodiment, a diffuser such as polytetrafluoroethylene lens or disc may be interposed in the light flow path at a location between the light source and the object viewed to reduce objectionable speckle. Alternatively, speckle effect may be reduced by vibrating one of the elements in the optical path traversed by the light beam. A speckle reduction system that uses a diffusing element, however, will result in a display system with significant optical power losses.

U.S. Patent No. 4,155,630 discloses a process and apparatus for improving image quality by speckle elimination in a coherent light imaging system. Diffused laser light is directed onto a mirror having a rocking motion that will cause the reflected rays to sweep a two-dimensional area. The reflected light is focused through a diffuser before collimating the light for use in image creation. However, the use of both a rocking mirror and a diffuser for speckle elimination in an imaging system results in significant losses of optical power.

U.S. Patent No. 5,272,473 discloses a coherent light projection system and method having reduced speckle. The invention is comprised of a coherent light source and a display screen. The coherent light source generates a plurality of narrow light beams that impinge on the display screen at a plurality of associated points. The display screen has a transducer that generates surface acoustic waves that traverse the associated points. Significant movement of the display screen such as to sufficiently reduce noticeable speckle is difficult, especially when the display screen is large.

U.S. Patent No. 5,274,494 discloses a method and apparatus for reducing or eliminating the speckle intensity of distribution in a highly coherent source. A coherent beam of light is directed into Raman cells to obtain a broad spectral bandwidth beam of light having additional side wavelengths other than the original wavelength. The composite beam having broad spectral bandwidth is capable of forming images that are substantially free of speckle intensity source. It is necessary to compensate for spatial incoherence that the Raman cells cause. Furthermore, the use of multiple Raman cells introduces significant complexity in a speckle reduction system.

U.S. Patent No. 5,313,479 discloses a system and method for a speckle-free display system comprised of at least one coherent light source, a diffusing element located in a plane intercepts coherent light beam, a spatial light modulator for receiving the diffused light beam and for generating an image light beam, and a viewing surface. The movement of the diffusing element causes the speckle interference pattern to move on the viewing surface. The diffusing element can be rotated or vibrated. A speckle reduction system that uses a

rotating diffusing element, however, will result in a display system with significant optical power losses.

In addition to image projection systems incorporating speckle reduction, lithographic systems have utilized speckle reduction techniques. U.S. Patent No. 5,453,814 discloses a uniform illumination system and method for microlithography. A light source, having a solid state laser, emits a beam that is separated into a number of segments. Segments are frequency shifted by a different amount such that they do not substantially overlap in the frequency domain. Each segment passes through a short focal length lens element of a fly's eye array to be dispersed onto a mask plane for uniformly illuminating a mask. The lens element of the fly's eye array are contained within a small region in comparison to the width of the dispersed beam segments, such that each beam segment contributes illumination to the entirety of a common portion of the mask. The system provides uniform illumination in the deep ultra-violet range without speckles or fringes. The fly's eye array of frequency shifting elements, each element of which shifts by a different frequency, is an optically complex means of incorporating speckle reduction in an image projection system.

It is, therefore, desirable to reduce speckle in a laser projection system by non-mechanical or diffusion means.

It is an object of the present invention to provide a system and method for speckle suppression in laser projection systems.

【課題を解決するための手段】

The present invention is directed to overcome the problem set forth above. Briefly summarized according to one aspect of the present invention, a wavelength of a laser light source for a projection system is Doppler shifted to produce different speckle patterns. In one embodiment, the laser projection system is comprised of at least one laser and an acousto-optic modulator (AOM) which changes the laser wavelength by the RF carrier frequency to the AOM. Slewing the RF carrier frequency Doppler shifts the laser wavelength, alters the speckle pattern, and reduces the detectability of the speckle in the image formed on a projection surface.

In a further aspect of the invention, a radio frequency (RF) signal is injected into at least one semiconductor laser that acts as the light source for a projection system. The injection of radio frequency changes the laser emission mode structure rapidly, thus producing multiple longitudinal lasing modes, each of which exhibits a different speckle pattern. Images projected in a projection system comprises of radio frequency injected lasers will suppress the appearance of unwanted speckle, since the differing speckle patterns produced by the different laser operational modes will be superimposed and will blend together on a projection surface.

In an additional aspect of the invention, a deflector directionally moves the output beam of a laser projection system to reduce noticeable speckle in an image on a projection surface. The pointing angle of the deflected beam from the AOM is a strong function of the carrier frequency. By slewing the frequency, the beam location on the screen can be changed, thus changing the speckle pattern. The movement of the beam need only be on the order of 1 pixel which does not significantly affect the modulation transfer function (MTF) in the direction of the movement. Beam movement at approximately 45 degrees to the vertical or horizontal can minimize the loss of MTF in the horizontal and vertical directions, and be less perceptible to the eye.

The invention and its objects and advantages will become more apparent in the detailed description of the preferred embodiment presented below.

【発明の実施の形態】

The present invention will be directed in particular to elements forming part of, or in cooperation more directly with, the apparatus in accordance with the present invention. It is understood that elements not specifically shown or described may take various forms well known to those skilled in the art.

Figure 1(a) shows a laser projection system 10 comprising a radio frequency (RF) oscillator 11 driving a semiconductor laser 12 that acts as the light source for an image projection system 13. The RF oscillator signal 14, combined with a DC bias signal 15, drive the semiconductor laser 12. A laser beam 16 with optical power output P_o is emitted from the semiconductor laser. At the same time, a monitor beam with optical power output P_m , at usually about 3% of P_o , is emitted from the semiconductor laser towards an internal photodiode 17. Power output P_m from the semiconductor laser is monitored by the internal photodiode, and provides a signal to the control circuit 18. The control circuit 18 monitors the variation in the signal from the internal photodiode 17, and adjusts the DC bias current to the semiconductor laser accordingly so as to maintain constant output power.

A multi-wavelength laser beam 16 with power output P_o is emitted from the semiconductor laser towards an optical projection system 13. The injection of radio frequency changes the laser emission from single mode to an effectively multimode pattern.

Figure 1(b) shows a graph of a multi-wavelength spectrum from an RF injected semiconductor laser. Forced multimode operation by radio frequency injection produces approximately 4 or 5 lasing modes, each of which exhibit a different speckle pattern. Using the multimode beam as input, the optical projection system shown in Figure 1(a) projects an image onto a projection surface, such as a screen 19. Images projected in a projection system comprised of radio frequency injected lasers will suppress unwanted speckle patterns, since the differing speckle patterns produced by the different laser operational modes will blend together in an image.

Figure 2(a) shows a schematic for an image projection system 20 that uses a semiconductor laser system to produce a multi-longitudinal mode output by optical feedback. A constant current supply 21 provides a drive signal for the semiconductor laser 12. An optical fiber 22 is positioned in front of the output beam of the laser. The semiconductor laser and the optical fiber are affixed to a thermoelectric cooler 23 to maintain a constant temperature for both elements. A temperature controller 24 monitors the thermoelectric cooler and provides a drive signal to the thermoelectric cooler. Laser output P_o is directed towards the optical fiber.

The laser beam is primarily directed through the optical fiber to the optical projection system 13, but a portion of the light is reflected off of the optical fiber and back into the semiconductor laser. This induces optical feedback in the laser, which in turn induces mode hopping and multi-longitudinal mode output from the semiconductor laser. For example, semiconductor lasers available from Poinisource use a fiber pigtail to introduce optical feedback.

Figure 2(b) shows the multi-wavelength spectrum from the semiconductor laser when an optical fiber is placed in front of the output of the laser. Optical feedback changes the laser emission from single mode to an effectively multimode pattern. Forced multimode operation by optical feedback produces approximately 4 or 5 lasing modes, each of which exhibit a different speckle pattern. Using the multimode beam as input, the optical projection system shown in Figure 2(a) projects an image onto a projection surface, such as a screen 19. Images projected using a projection system comprised of induced multimode

lasers will suppress unwanted speckle patterns, since the differing speckle patterns produced by the different laser operational modes will blend together in an image.

Figure 3 shows a schematic for an image projection system 30 with a laser system that produces a multi-longitudinal mode output by optical feedback. A laser 22 is driven by a signal from a power supply 31. The laser could be a gas laser, a semiconductor laser, or a solid state laser. The optical output power of the laser, P_o , is directed towards the surface of a partially reflecting mirror 32.

The laser beam 33 is partially transmitted through the mirror 32 towards the optical projection system 13. However, the laser beam is also partially reflected back towards the output window of the laser. When this light reenters the laser, it disturbs the laser cavity and causes the laser to output a multi-wavelength beam. Optical feedback changes the laser emission from single mode to an effectively multimode pattern. The laser may be instantaneously single mode, but it is forced to switch its mode structure rapidly. Forced multimode operation by optical feedback produces approximately 4 or 5 lasing modes, each of which exhibit a different speckle pattern. The multi-wavelength beam is directed towards a projection system. Because the projected beam from the optical projection system is multi-wavelength, the image formed on the imaging surface does not exhibit noticeable speckle. The varying wavelengths of the beam reduce the noticeable speckle, since the speckle patterns for each wavelength overlap and blend with each other in an image.

Figure 4 shows a schematic for an image projection 40 that uses a multi-wavelength laser beam 16 by Doppler shifting with a variable frequency acousto-optic modulator (AOM) 41. An oscillator 42 is used to generate a radio frequency (RF) signal 43. A modulation oscillator 44 is used to generate a modulation signal. Both the RF signal generated by the oscillator and the modulation signal are directed into a frequency modulator 46, which combines the signals to form a RF modulated signal 47 and directs the new signal into the AOM. The output of a laser 48 is directed towards the AOM that is receiving the RF modulated signal.

Slewing the RF signal frequency shifts the laser wavelength, alters the speckle pattern, and reduces the speckle in the image formed. The multi-

wavelength Doppler shifted output beam from the AOM is directed towards an optical projection system 13. The projection system projects an image onto an imaging surface 19. Since the input beam to the optical projection system is a multi-wavelength beam, the varying wavelengths of the beam reduce the noticeable speckle because the speckle patterns for each wavelength overlap and blend with each other in an image. The modulation oscillator 44 need not be just a simple sinewave generating device. In order to minimize dwell at any one frequency and, therefore, the appearance of speckle, a triangle waveform is advantageous.

Figure 5 shows a schematic for an image projection system 50 that uses an angularly varying laser beam with a variable frequency acousto-optic modulator (AOM). An oscillator 42 is used to generate a radio frequency (RF) signal 43. A modulation oscillator 44 is used to generate a modulation signal 45. Both the RF signal generated by the oscillator and the modulation signal are directed into a frequency modulator 46, which combines the signals to form a RF modulated signal 47 and directs the new signal into the AOM. The output of a laser is directed towards the AOM 41 that is receiving the RF modulated signal. The AOM outputs a beam with a small angle variation towards an optical projection system.

The optical projection system 50 outputs an angularly varying beam towards an imaging surface 19. By slewing the frequency, the beam location on the screen can be changed, thus changing the speckle pattern. To minimize dwell at any screen location, it is advantageous to have the modulation signal 45 generated by the modulation oscillator 44 be a triangle wave. The movement of the beam need only be approximately 1 pixel so as not to destroy the modulation transfer function (MTF) in the direction of the movement. Since the eye is very sensitive to horizontal and vertical edges, but less sensitive to angles in between, beam movement of approximately 45 degrees can minimize the loss of MTF in the horizontal and vertical directions. However, the beam movement frequency must be high enough to prevent any obvious flicker to the eye. For example, as noted in U.S. Patent No. 5,272,473, a beam movement frequency

between approximately 5 Hz and 60 Hz, depending on light level, would be sufficiently undetectable by the human eye.

Figure 6 shows a schematic for a laser system 60 capable of generating an angularly varying beam that illuminates an area array device to project an image. A laser beam 61 is directed towards an AOM 41. A variable frequency carrier signal 62 is injected into the AOM. The AOM outputs an angularly varying beam 63 towards expansion optics 64 that expand the beam. The expanded beam is directed towards a beamsplitter cube 65. On the adjacent side of the beamsplitter cube from the angularly varying beam entry, a spatial light modulator 66 projects an image from image data 67 provided to the spatial light modulator driver 68. The beamsplitter cube outputs an image through an optional polarizer 69, and then towards a projection lens 70. The output of the projection lens directs an angularly varying beam 71 towards a projection surface 19.

The image projected on the projection surface is speckle suppressed, since the angularly varying beam blends the speckle pattern of the beam with the image. As stated in the previous embodiment, the movement of the beam need only be approximately 1 pixel so as not to destroy the modulation transfer function (MTF) in the direction of the movement. Since the eye is very sensitive to horizontal and vertical edges, but less sensitive to angles in between, beam movement of approximately 45 degrees may minimize the loss of MTF in the horizontal and vertical directions. However, the beam movement frequency must be high enough to prevent any obvious flicker to the eye. For example, a beam movement frequency between approximately 5 Hz and 60 Hz would be sufficiently undetectable by the human eye. For the sake of simplicity, Figure 6 shows only a single beam projection system. Multiple beams, e.g. red, green and blue, can be generated from separate sources and spatial light modulators and then combined using an X-cube prism, or other suitable means, for a multicolor projection system. There are a number of examples of multibeam systems in the art of incoherent color projectors.

Figure 7 shows a schematic for a laser system 80 capable of generating an angularly varying beam in a raster scan laser system that projects an image pixel by pixel. The output beam 61 of a laser 48 is directed towards the

input of an AOM 41. The AOM 41 is driven by a pixel modulation signal 72. The output beam of the AOM 42 is directed towards another AOM 63 directly in front of the output of the first AOM, which is driven by a variable frequency carrier signal 64. An angularly varying beam is outputted from the variable frequency driven AOM towards a set of optics 65. The output beam from the optics is directed towards a high speed horizontal deflector, such as a polygon 86. The reflected beam 88 from the polygon is directed towards a slow speed vertical deflector 89, such as a galvanometer or mirror. The reflected beam from the vertical deflector is directed towards a projection lens 70. An angularly varying output beam 90 is outputted from the projection lens towards a projection surface 19.

【発明の効果】

The image projected on the screen is speckle suppressed, since the angularly varying beam blends the speckle pattern of the beam with the image. As stated in the previous embodiment, the movement of the beam need only be approximately 1 pixel so as not to destroy the modulation transfer function (MTF) in the direction of the movement. Since the eye is very sensitive to horizontal and vertical edges, but less sensitive to angles in between, beam movement of approximately 45 degrees may minimize the loss of MTF in the horizontal and vertical directions. However, the beam movement frequency must be high enough to prevent any obvious flicker to the eye. For example, a beam movement frequency between approximately 5 Hz and 60 Hz would be sufficiently undetectable by the human eye.

Thus, it is seen that speckle may be suppressed by the use of RF injection, optical feedback, Doppler shifted wavelength, or a deflection means suppresses speckle in a laser projection system.

【図面の簡単な説明】

Figure 1(a) is a schematic for an image projection system using a multi-longitudinal laser source using a radio frequency (RF) injected semiconductor laser in an image projection system.

Figure 1(b) is a graph of power versus wavelength for a multi-wavelength spectrum from a RF injected semiconductor laser.

Figure 2(a) is a schematic for an image projection system using an optical fiber to induce multi-longitudinal mode operation in a semiconductor laser.

Figure 2(b) is a graph of power versus wavelength for a multi-wavelength spectrum from a semiconductor laser with optical feedback from an optical fiber.

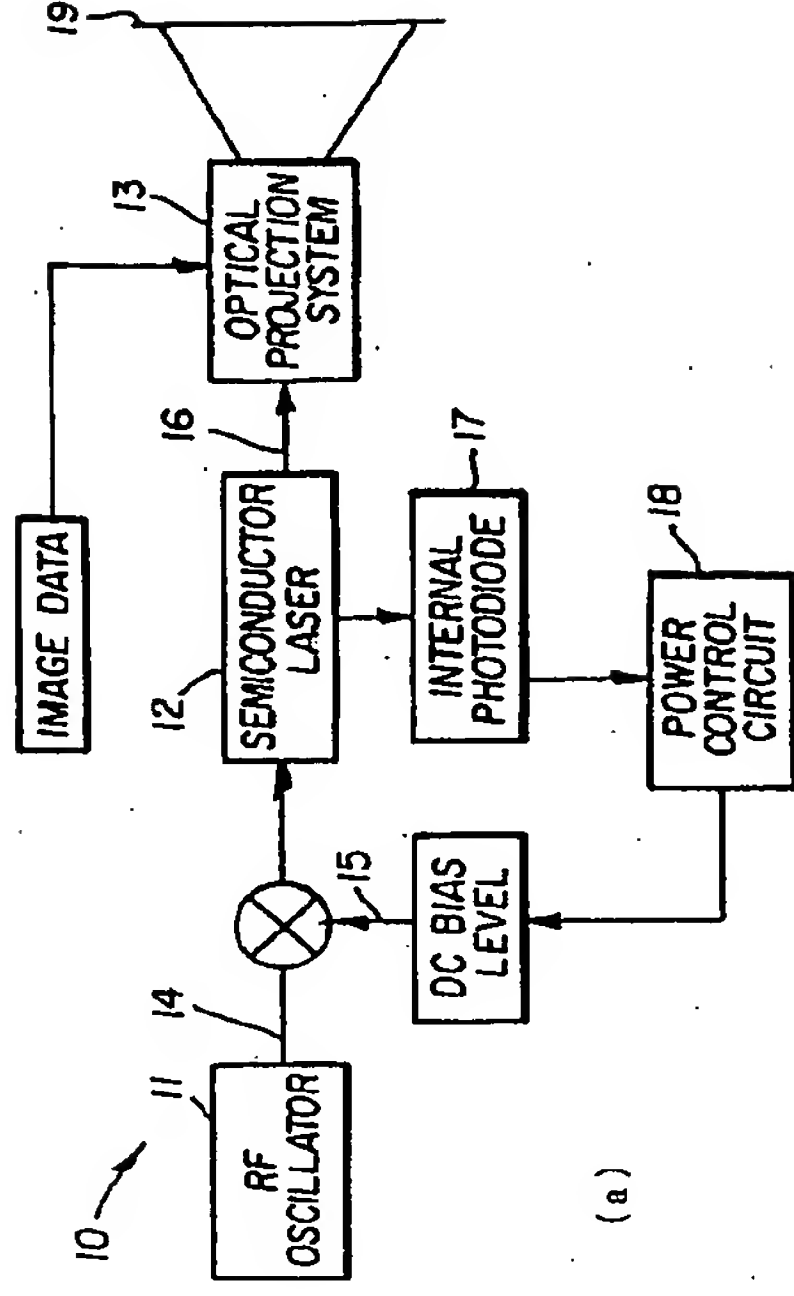
Figure 3 is a schematic for an image projection system that uses a partially reflecting mirror to induce multi-longitudinal mode operation in a laser.

Figure 4 is a schematic for an image projection system that uses a multi-wavelength laser beam by Doppler shifting with a variable frequency acousto-optic modulator (AOM).

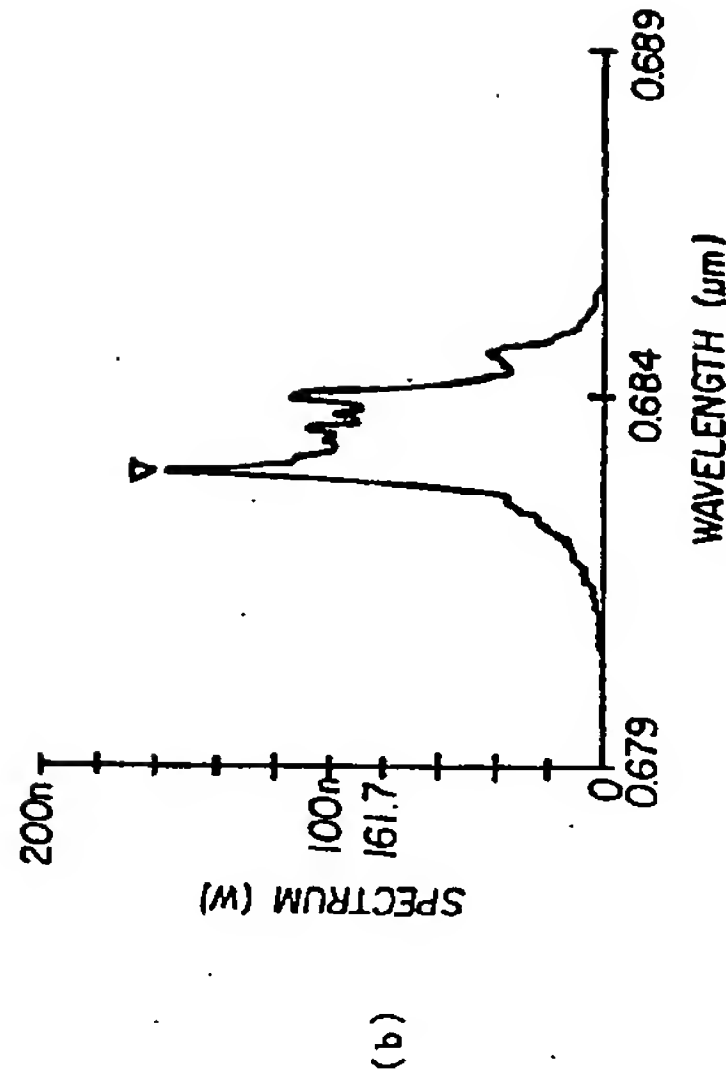
Figure 5 is a schematic for an image projection system that uses an angularly varying laser beam by using a variable frequency AOM.

Figure 6 is a schematic for an image projection system that uses an angularly varying beam to illuminate an area array device to project an image.

Figure 7 is a schematic for an image projection system that uses an angularly varying beam in a raster scan laser imaging system.



(a)



(b)

FIG. 1

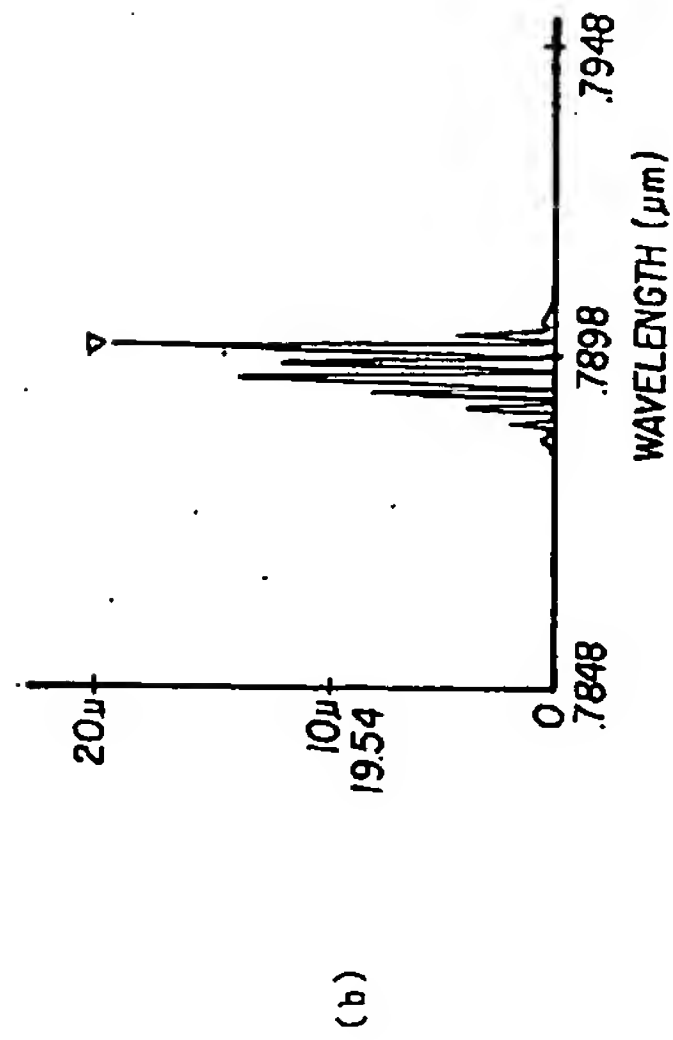
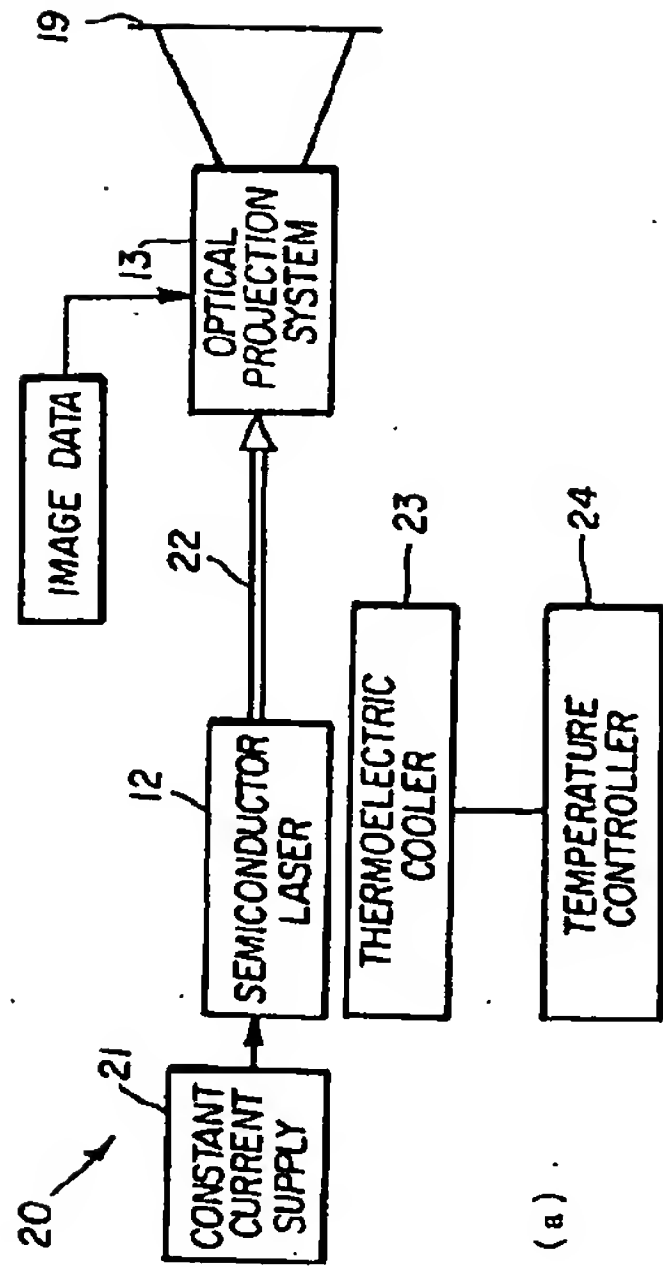
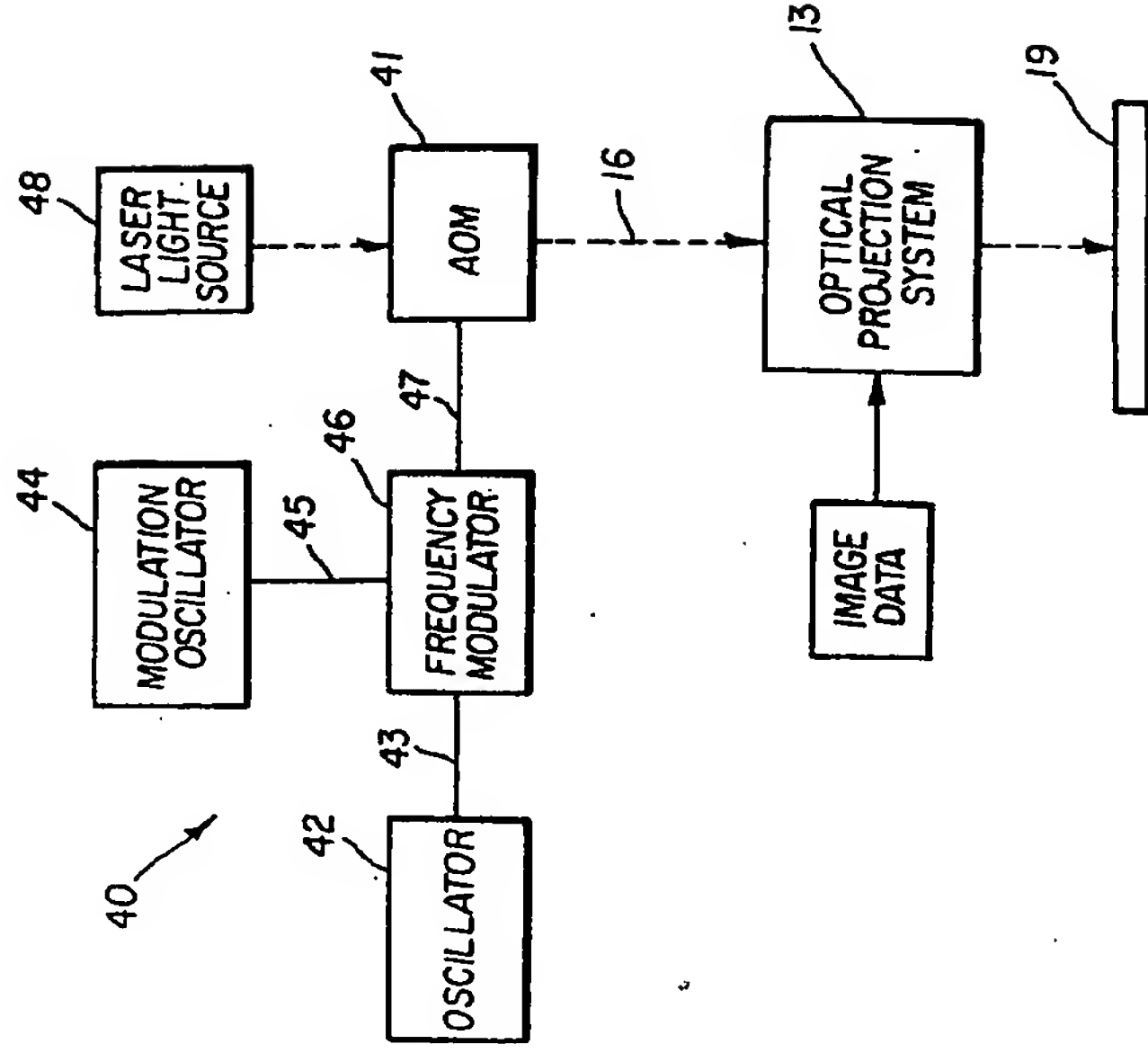
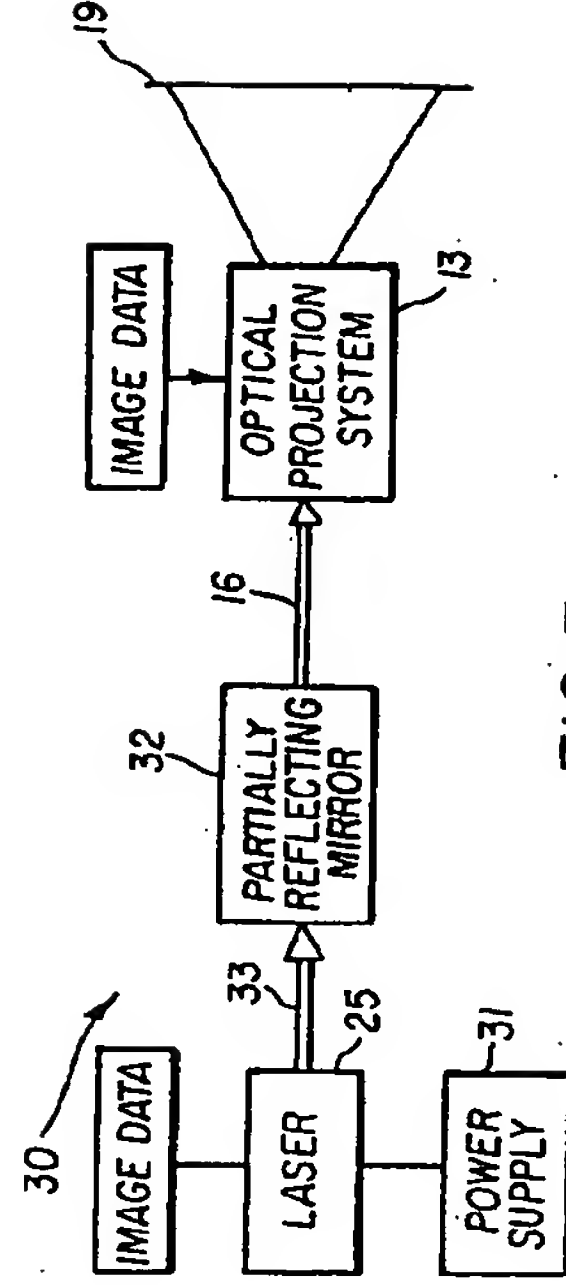


FIG. 2



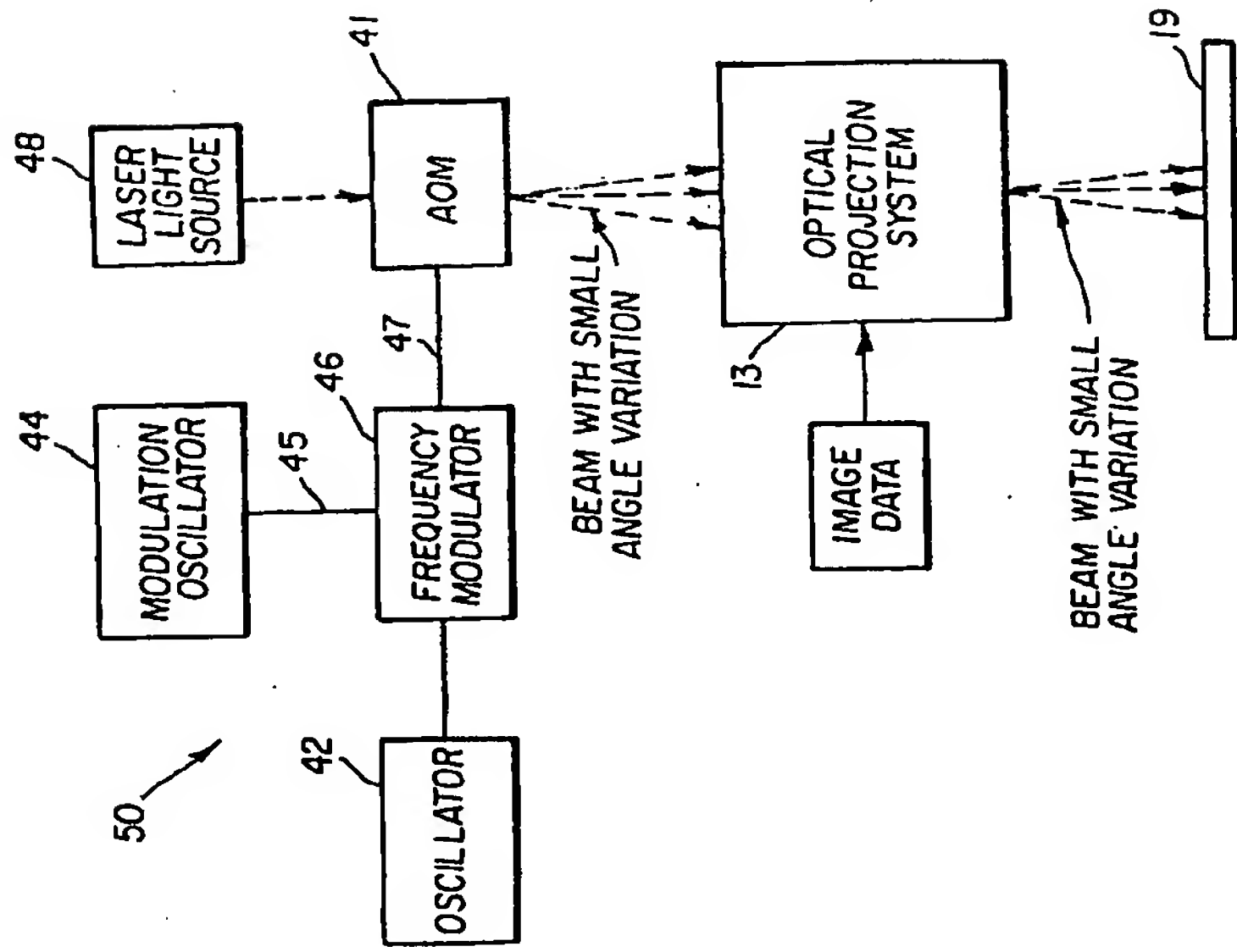


FIG. 5

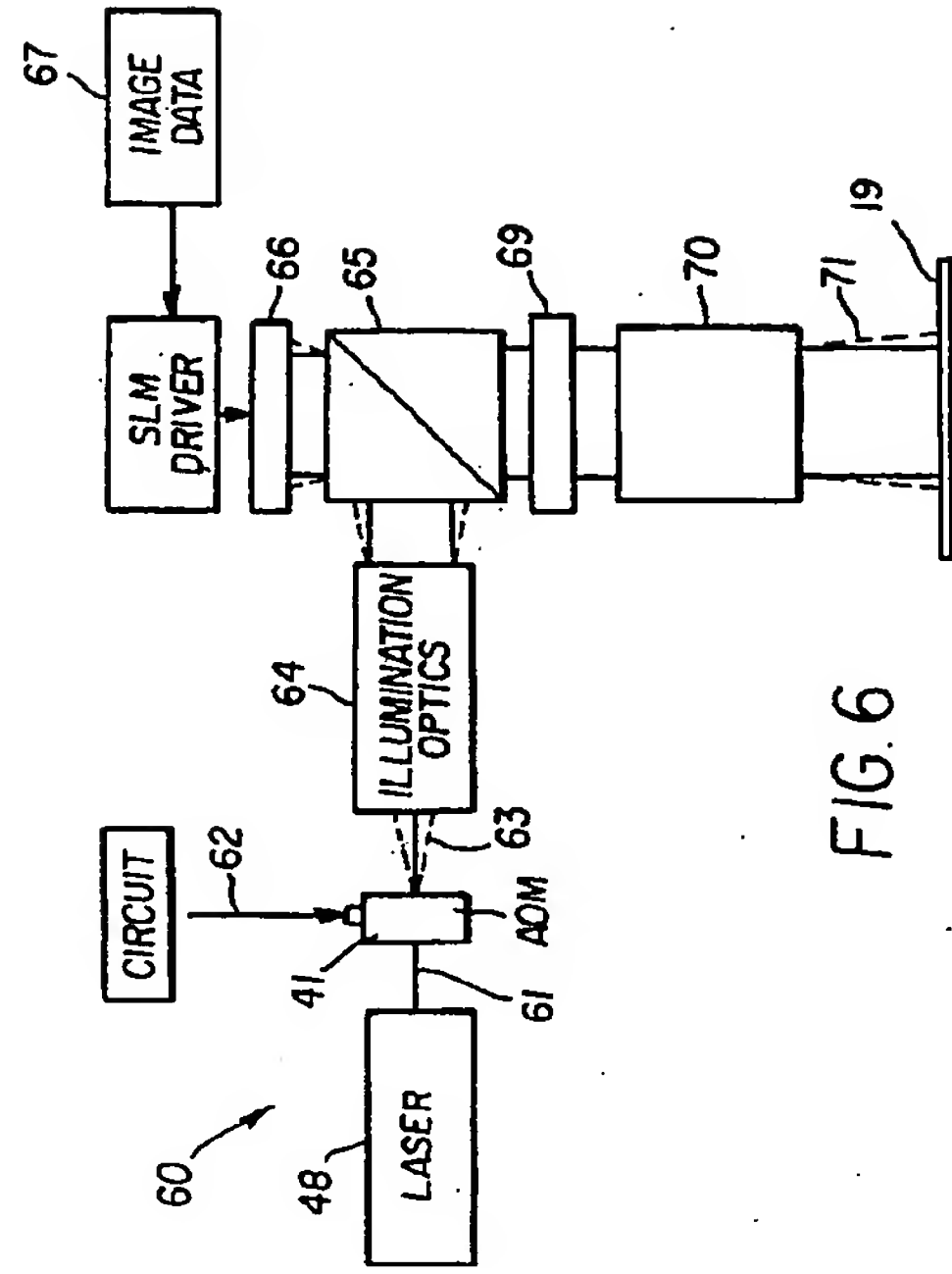


FIG. 6

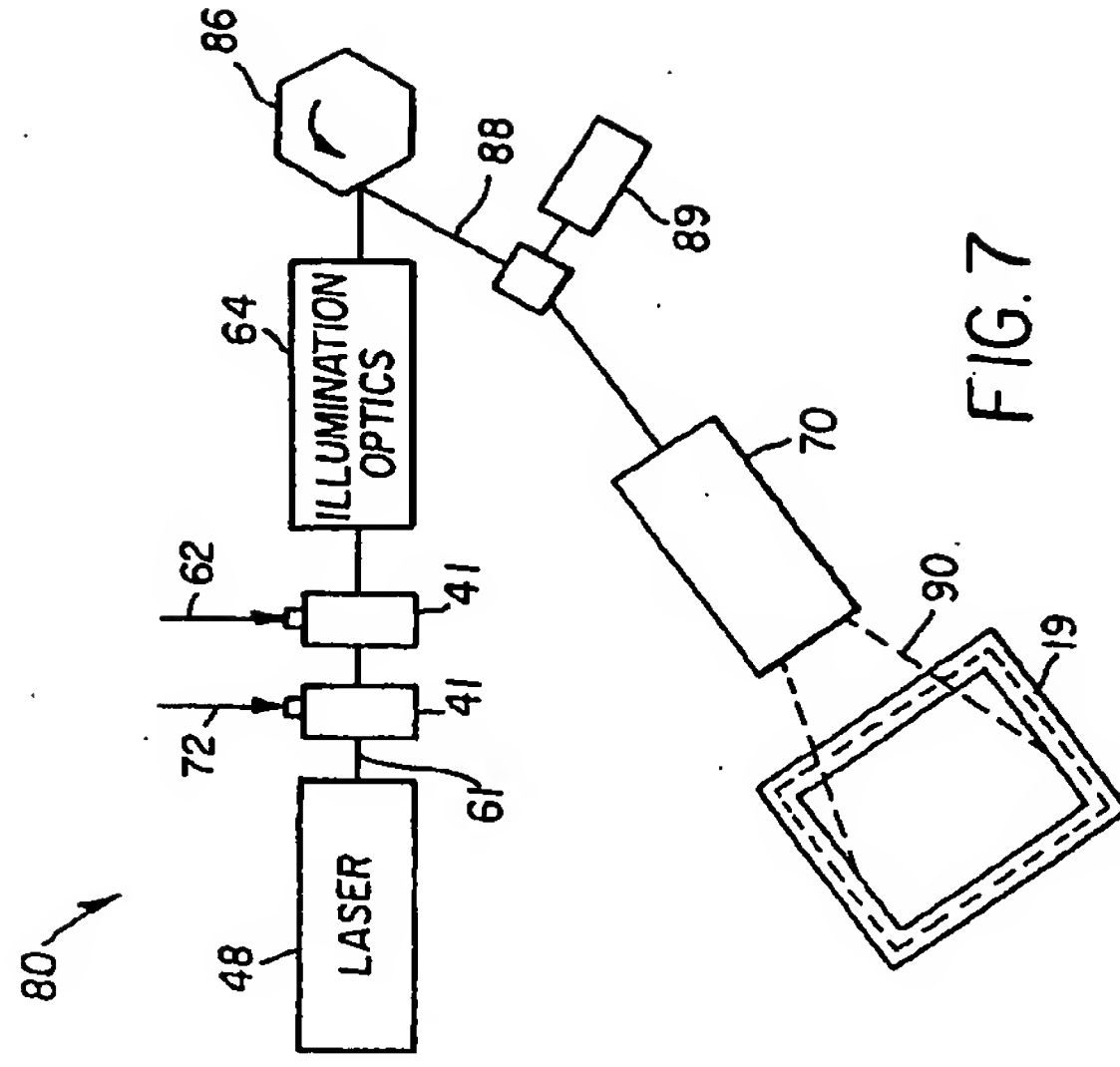


FIG. 7

【要約】

【課題】

A system and method for reducing or eliminating the speckle intensity distribution of a laser imaging system is provided.

【解決手段】

In one embodiment of the invention, a radio frequency signal is injected into a semiconductor laser light source (12) for a projection system (10) to create different speckle patterns that blend together on a projection surface (19). In another embodiment of the invention, optical feedback is used to induce a laser light source for a projection system (10) to create different speckle patterns that blend together on a projection surface (19). In another embodiment of the invention, the laser light source wavelength is Doppler shifted to produce different speckle patterns. In another embodiment of the invention, a means of deflection is used to directionally move the beam to reduce noticeable speckle. Since the eye is very sensitive to horizontal and vertical edges, but less sensitive to angles in between, beam movement of approximately 45 degrees may minimize the loss of MTF in the horizontal and vertical directions.